

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 17720071150737

UDC\_\_\_\_\_

廈門大學

硕 士 学 位 论 文

卷烟自动分拣系统订单排序优化  
建模与仿真

Modeling and Simulation on Order Scheduling Optimization  
for Cigarette Automatic Sorting System

卓丽钦

指导教师姓名: 韩水华 教授

专 业 名 称: 管理科学与工程

论文提交日期: 2010 年 4 月

论文答辩时间: 2010 年 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2010 年 04 月

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博士论文摘要库

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

厦门大学博士论文摘要库

## 摘 要

随着我国烟草物流数字化、自动化的不断深入，烟草物流的智能化、信息化建设越来越广泛地受到重视。卷烟自动分拣系统是成品烟销售配送中心的核心组成部分，也是整个烟草物流中的重要环节，为保证各配送线路上的订单及时准确的到达客户的手中，有必要在每次分拣作业之前对各配送线路上的订单进行排序。目前对自动分拣系统的研究主要集中在控制策略优化和仓库拣货路径优化问题的研究上，关于自动分拣系统订单排序优化问题的研究相对较少，大多数的研究把订单分拣时间作为常量进行分析，而没有考虑到机械设备的具体运作过程对订单分拣时间的影响。

本文在对卷烟自动分拣系统条烟分拣时间进行建模分析的基础上，对卷烟自动分拣系统订单排序优化方法进行了研究。首先，论文对卷烟销售订单进行了 EIQ 分析，找出配送中心的卷烟关键品牌，根据分析结果安排各品牌卷烟在分拣系统上的布局。其次，论文应用“虚拟容器”的概念，构建了订单分拣时间模型，分析了订单大小、订单品牌结构等因素对订单分拣时间产生的影响。再次，论文在得出订单分拣时间的基础上，建立了订单分拣排序模型，并将其归结为一类组合优化问题，建立了以最小化各订单加权完工时间为目标的订单排序优化模型，并应用递阶遗传算法对模型进行了优化。最后，论文设计了卷烟自动分拣系统订单排序优化的 MATLAB 仿真平台，并应用一组实际的订单数据进行仿真，分析了不同的分拣机组成、分拣线数量及订单排序方法对分拣效率的影响，仿真结果表明所建模型和优化方法的正确性和有效性，与传统的 WSPT 启发式算法相比，运用该算法分拣作业效率有明显提高。

**关键词：**自动分拣系统；订单排序；递阶遗传算法；仿真分析

## Abstract

As China's tobacco logistics developed, information technology is becoming more and more important. Automatic sorting system is not only the core component of cigarette sales and distribution center, but also the important elements of whole logistics of the tobacco. Cigarette automatic sorting system sort and pack cigarette in automatic assembly line based on customer order. In order to ensure that all sorting equipment's working load are balanced, and the orders in the same delivery route are sorted in the same automatic sorting system as much as possible, sorting orders before allocating to automatic sorting system is essential and necessary. In this paper, the model of order sorting time is built. The order scheduling method is studied based on model analysis.

In actual operation, the order size, the cigarette brand order included, and other factors may often be a significant impact on the actual ability of automatic sorting system. First of all, the paper analyses the structure of the order in various delivery route, the sorting time of the order is drawn. In the modeling process, the concept of "virtual container" is applied. Second, the paper analyses the effect order scheduling produced on the sorting efficiency of automatic sorting system based on the analysis of sorting time model. Thirdly, the paper concludes the question to a combinatorial optimization problem to minimize the weighted completion time of all orders. And solve the problem by applying hierarchical genetic algorithm. Finally, the paper design the simulation program in MATLAB platform and use different orders data verify the optimization result. The data are collected from actual distribution center that can reflect the actual work. MATLAB simulation results validate the correctness and effectiveness of the model and optimization method. Operational efficiency has been greatly improved by the use of optimization methods.

**Key Words:** Auto sorting system; order scheduling; hierarchical genetic algorithm; simulation



# 目 录

摘 要.....	I
第一章 绪论 .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.2 研究现状 .....	2
1.2.1 分拣系统布局设计的研究现状 .....	2
1.2.2 分拣策略的研究现状 .....	3
1.2.3 订单处理方式的研究现状 .....	5
1.3 本文主要研究内容 .....	8
1.3.1 研究目标 .....	8
1.3.2 研究方法 .....	8
1.3.3 研究内容及论文结构 .....	9
第二章 卷烟自动分拣系统概述 .....	11
2.1 自动分拣系统概述 .....	11
2.1.1 自动分拣系统的主要特点 .....	11
2.1.2 自动分拣系统的组成 .....	12
2.1.3 卷烟自动分拣系统 .....	13
2.1.4 本文研究的复合式卷烟自动分拣系统 .....	14
2.2 卷烟货品特性及分拣条件分析 .....	15
2.2.1 成品卷烟包装规格 .....	16
2.2.2 成品卷烟仓储形式 .....	16
2.2.3 卷烟分拣单位及分拣模式 .....	17
2.2.4 卷烟分拣作业方式 .....	18
2.3 卷烟销售订单的 EIQ 分析 .....	19
2.3.1 EIQ 分析流程 .....	20
2.3.2 卷烟销售订单的 EIQ 分析 .....	22
第三章 并行卷烟自动分拣输送系统订单排序模型研究 .....	27
3.1 分拣输送系统建模理论假设 .....	27
3.2 “虚拟容器”算法模型 .....	28
3.2.1 “虚拟容器”模型的提出 .....	28
3.2.2 “虚拟容器”的构建 .....	29
3.3 分拣输送系统时间建模 .....	30
3.3.1 优化参数的定义 .....	30

3.3.2	“虚拟容器”长度的确定 .....	31
3.3.3	订单分拣输送作业的时间建模 .....	32
<b>第四章</b>	<b>基于 MATLAB 的订单排序优化仿真分析 .....</b>	<b>35</b>
4.1	模型的优化算法 .....	35
4.2	基于递阶遗传算法的模型优化 .....	36
4.2.1	递阶遗传算法简介 .....	36
4.2.2	基于递阶遗传算法的模型优化 .....	37
4.3	基于 MATLAB 的仿真分析 .....	38
4.3.1	仿真数据处理 .....	38
4.3.2	仿真分析 .....	41
<b>第五章</b>	<b>总结与展望 .....</b>	<b>52</b>
5.1	研究总结 .....	52
5.2	研究局限 .....	52
5.3	研究展望 .....	53
参考文献 .....		54
附 录 .....		60
致 谢 .....		74

# Contents

<b>Abstract .....</b>	<b>I</b>
<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background and Significance .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Recent Research .....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Recent Research on Automatic Sorting System Design .....	2
1.2.2 Recent Research on Sorting Strategy .....	3
1.2.3 Recent Research on Order Handling .....	5
<b>1.3 The Content of Research .....</b>	<b>8</b>
1.3.1 Research Objectives .....	8
1.3.2 Research Methods .....	8
1.3.3 Research Contents .....	9
<b>Chapter 2 Cigarette Automatic Sorting System .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Automatic Sorting System Introduction .....</b>	<b>11</b>
2.1.1 The Features of Automatic Sorting System .....	11
2.1.2 The Composition of Automatic Sorting System .....	12
2.1.3 Cigarette Automatic Sorting System Introduction .....	13
2.1.4 Complex Cigarette Automatic Sorting System Introduction .....	14
<b>2.2 The Characteristics and Sorting Condition of the Cigarette .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Cigarette Packing Specification .....	16
2.2.2 Cigarette Storage Style .....	16
2.2.3 Cigarette Sorting Unit and Sorting Style .....	17
2.2.4 The Choice of Cigarette Sorting Style .....	18
<b>2.3 EIQ Analysis of Cigarette Order .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 EIQ Analysis Procedure .....	20
2.3.2 EIQ Analysis of Cigarette Order Information .....	22
<b>Chapter 3 Research On Order Scheduling for Cigarette Automatic</b>	
<b>Sorting System .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Automatic Sorting System Modeling Hypothesis .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 “Virtual Container” Algorithmic Model .....</b>	<b>28</b>
3.2.1 The Raise of “Virtual Container” Model .....	28
3.2.2 The Establishment of “Virtual Container” Model .....	29

<b>3.3 Automatic Sorting System Sorting Time Modeling .....</b>	<b>30</b>
3.3.1 Optimization Parameter Definition .....	30
3.3.2 The Length of“Virtual Container” .....	31
3.3.3 Automatic Sorting System Sorting Time Modeling.....	32
<b>Chapter 4 Simulation of Order Scheduling Optimization Model</b>	
<b>Based On MATLAB.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 The algorithms to Solve the Problem .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2 Order Scheduling Optimization Based on Hierarchical Genetic</b>	
<b>Algorithm .....</b>	<b>36</b>
4.2.1 The Idea and Characteristics of Hierarchical Genetic Algorithm ....	36
4.2.2 Order Scheduling Optimization Based on Hierarchical Genetic	
Algorithm.....	37
<b>4.3 Simulation Analysis on MATLAB Platform.....</b>	<b>38</b>
5.2.1 Simulation Data Handling.....	38
5.2.2 Simulation Analysis.....	41
<b>CHAPTER 5 Conclutions and Further Research .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Conclusions.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2 Research Limitation.....</b>	<b>52</b>
<b>5.3 Further Research .....</b>	<b>53</b>
<b>References.....</b>	<b>54</b>
<b>Appendices .....</b>	<b>60</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>74</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景及意义

我国是当今世界上为数不多的实行烟草专卖体制的国家,加入世界贸易组织以来,商业流通市场逐步放开,企业之间的竞争从单一企业、单一产品的竞争,逐步上升到产业链、供应链之间的竞争,烟草行业也面临着全方位的国际竞争。传统的流通模式越来越不能适应新形势的要求,烟草流通企业纷纷准备或开始筹建物流配送中心,以降低成本,提高服务质量和水平,扩大经营规模,改进物流与信息流系统<sup>[1]</sup>。通过对整个产业链、供应链进行梳理、整合和提升,打造物流配送服务品牌,是增强烟草行业核心竞争力的必由之路<sup>[2]</sup>。

目前,国内外对卷烟生产环节的物流系统自动化和信息化技术研究比较深入,也初步形成了一套系统的理论研究方法,但是对于烟草销售环节的物流系统自动化和信息化的研究却并不成熟。从形式上看,我国烟草行业实现了根据电话等形式采集零售客户的订单,通过卷烟配送网络直接送货到零售客户,但是困扰行业物流现代化建设的两个关键制约因素“效率”和“成本”还没有得到很好地解决<sup>[3]</sup>,这两个问题将直接决定烟草商业系统能否长期持续稳定发展。

卷烟自动分拣系统是烟草物流配送系统中的核心组成部分,在整个烟草配送过程中具有重要的作用。研究表明,物流中心的分拣作业时间一般占到物流中心作业总时间的60%以上,而分拣的成本也占到整个物流成本的40%,并且随着用户需求向小批量多样化方向发展,分拣作业的“时间、成本投入”也越来越大<sup>[4]</sup>,因此若要降低物流成本,提高运作效率,从物流中心内部的分拣作业上着手,具有相当大的潜力。

生产计划排序问题一直是生产管理和组合优化领域的研究热点问题,这类问题的解决对于提高生产效率、充分利用生产资源、提高企业竞争力具有十分重要的意义。卷烟自动分拣系统根据客户订单的条烟需求种类和数量进行自动分拣和包装,在分拣系统过程中,订单的分拣顺序关系到订单的准时交付、各分拣设备的负载均衡、库存的控制等重要问题。此外,当今产品多品种、小批量的竞争趋势,以及人们对服务质量要求的逐渐提高,都对烟草配送中心服务效率提出了越

来越高的要求,如何提高卷烟自动分拣系统的订单分拣效率,及时响应和满足客户的需求显得尤为重要。目前对自动分拣系统的研究大部分是关于分拣系统的控制策略优化和仓库拣货路径优化问题的研究,而关于自动分拣系统订单排序优化问题的研究相对较少<sup>[5]</sup>。在订单排序的研究中都把订单分拣时间作为常量进行分析,而不考虑机械设备的具体运作过程对订单分拣时间的影响。因此,对自动卷烟分拣系统订单排序问题进行研究有着迫切的实际要求。

## 1.2 研究现状

国内外学者和研究机构对自动分拣系统研究得较全面,涵盖了自动化分拣系统理论和技术的一个方面。在物流配送中心分拣系统的研究中,主要有三个方面的内容:(1)对分拣系统布局设计的研究;(2)对分拣策略的研究;(3)对订单处理方式的研究等。

### 1.2.1 分拣系统布局设计的研究现状

有关低层人工拣货系统布局设计的文献并不丰富。最早的文献是 1980 年 Bassan 等<sup>[6]</sup>发表的“仓库的内部布置设计”一文,他们提出了确定仓库结构的几个确定性模型,如搬运时间、搬运距离、空间利用和成本最小化等。文献<sup>[7]</sup>同时利用分析和仿真方法,研究了仓库内部存储策略的效果。文献<sup>[8]</sup>检验了随机需求和不同服务水平对仓库布局和存储容量的影响。Roodbergen<sup>[9]</sup>提出了一个非线性目标函数来确定随机存储仓库中(包括单区和多区)使平均行走距离最小的巷道结构。同样是把最小化平均路径长度作为主要目标,文献<sup>[10]</sup>在基于体积指标的存储分配策略下考虑了一个具有一个中间横道的两个区的仓库。Petersen<sup>[11]</sup>通过仿真,研究了巷道的长度和数量对总行走时间的影响。

和人工拣货系统相比,自动存取系统(AS/RS)受到的关注较多。多数研究首先开发出行走距离模型,然后以最小化堆垛机的行走距离为目标,寻找最优的货架结构。在随机存储策略下,Bozer 和 White<sup>[12]</sup>证明了在单命令周期或双命令周期(Single and dual-command cycles)情况下,呈时间正方形(SIT, square-in-time:货架高度与长度的比等于堆垛机垂直方向速度与水平方向速度的比值)的货架是最优的。Larson 等<sup>[13]</sup>以增加地面空间利用率和减少行走时间为目标,对单元货物仓库

的结构进行了布置设计并对分类的产品进行了储位分配。文献<sup>[14]</sup>扩展了 Bozer and White<sup>[12]</sup>的方法,以最小化单元货物的拣出时间为目标,在已知库容量的条件下,确定了货架的三维优化结构。

大多数配送中心都配备有多种拣货系统,每种系统都会根据产品的不同特征如尺寸、重量、形状、保质期限、需求率、配送数量等配备不同的设备。在很多情况下,为了加速拣货过程,减少行走时间,往往会将保管区和拣货区分开,这个拣货区通常称为动管区。在配送中心建立一个分离的、紧凑的动管区,以拣取需求率高、出入库频繁的产品是很常见的做法,卷烟自动分拣系统也是采用了这种做法。这种方法能减少拣货成本但需要增加从保管区向动管区补货这一额外的环节,而且对动管区的面积有一定的限制。因此,需要确定哪种 SKU(Stock keeping unit)存放在动管区?数量是多少?存放在动管区什么位置?

Bozer 在 1985 年首次提出将托盘货架的上部作为保管区下部作为动管区的问题<sup>[15]</sup>。文献<sup>[16]</sup>在假定动管区具有固定容量的前提下,以最小化拣货与补货的总成本为目标,提出了一个模型来确定哪些 SKUS 被分配到动管区,如何对已分配的 SKUS 分配存储空间。他们采用基于背包问题的启发式算法来进行求解,并提出了这种启发式算法最优性的充分条件。文献<sup>[17]</sup>将动管区的大小作为决策变量,对文献<sup>[16]</sup>的问题和解法进行了扩展,模型中的成本涵盖了动管区的设备成本,搬运成本、拣货成本和补货成本,并假设一个 SKU 的补货能一次完成。Van den Berg 等<sup>[18]</sup>研究了单元货物的补货问题,也就是一次行程只能补充一个单元货物,他们还考虑了仓库的忙闲期,认为通过在空闲期进行有效的补货来降低繁忙期的补货次数是可以做到的,并以最小化繁忙期与拣货和补货相关的总劳动时间的期望值为目标,提出了一种基于背包问题的启发式方法来确定存入动管区的 SKU 的数量。

### 1.2.2 分拣策略的研究现状

应用自动分拣系统进行分拣作业时,必须采取一系列的分拣策略对分拣作业过程进行控制,以保证分拣系统低成本、高效率地运行。分拣作业相关的控制问题主要有拣货分区和拣货路径优化两方面内容。

#### (1) 拣货分区

将拣货作业场地分成多个区域,由一个或一组固定的拣货人员负责拣取自己负责区域内的物品,这种方法称为拣货分区。文献<sup>[19]</sup>对分区拣货问题作了一般性的论述。文献<sup>[20]</sup>建立了一个类似 Jackson 排队网络的分区接力拣货系统模型,该模型可用于确定系统的大小和分区的数量。文献<sup>[11]</sup>的仿真研究表明,拣货区的形状(每个分区巷道的数量、长度、拣货单的大小及存储策略都会对一个分区内的平均行走时间产生很大的影响。文献<sup>[21]</sup>将拣货分区作为约束条件研究了产品的储位分配问题。对订单具有波动性的累进拣货系统,文献<sup>[22]</sup>提出了多种启发式方法以平衡多个拣货员之间的工作量和调整拣货区的大小。文献<sup>[23]</sup>考虑了在一个多区同步拣货系统中采用启发式方法将产品分配到各个分区的问题。文献<sup>[24]</sup>研究了在一个累进拣货系统中基于动态规划方法的产品储位分配问题,其中包含了对一个拣货员所负责拣货区大小的研究。文献<sup>[25]</sup>采用混合整数线性规划模型,以拣货和集合包装的总时间最小为目标确定了同步拣货系统中拣货区的最优数量。

## (2) 拣货路径优化

路径问题就是对给定存储位置的品项确定拣取先后顺序,以保证拣货行走距离最短。拣货路径问题实际上相当于一类特殊的旅行商问题。文献<sup>[26]</sup>提出了具有两个横向通道(一个区)的矩形仓库的最优路径算法,利用图论方法解决了这个问题。文献<sup>[27-28]</sup>在文献<sup>[26]</sup>的基础上,将问题进行扩展,利用动态规划方法解决了具有三个横向通道的仓库最优拣货路径问题。文献<sup>[27]</sup>用动态规划方法开发了一个具有任意多个横向通道仓库的拣货路径模型。

由于旅行商问题是一个经典的 NP 难题,当问题的规模较大时,很难在有限的时间内获得最优解。因此,在实际的操作中,路径问题的解决方法主要是启发式方法。文献<sup>[28-31]</sup>对一个区的仓库区分了多种不同的启发式方法,概括起来主要有穿越策略(S 形策略)、返回策略、中点策略、最大间隙策略、混合策略和优化策略等几种。

穿越策略就是一个拣货员从仓库的一端进入拣货通道,而从该通道的另一端退出进入下一个包含拣取位置拣货通道。拣货员从入口出发,在返回入口之前按这种方法遍历所有包含拣取位置的通道。

返回策略就是拣货员从拣货通道的同端进入和退出,拣货员只需要进入包含拣取位置的通道,不包含拣取位置的通道可以跳过不管。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库